

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 03-255907

(43)Date of publication of application : 14.11.1991

(51)Int.Cl.

G01B 11/24

(21)Application number : 02-055330

(71)Applicant : MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD

(22)Date of filing : 07.03.1990

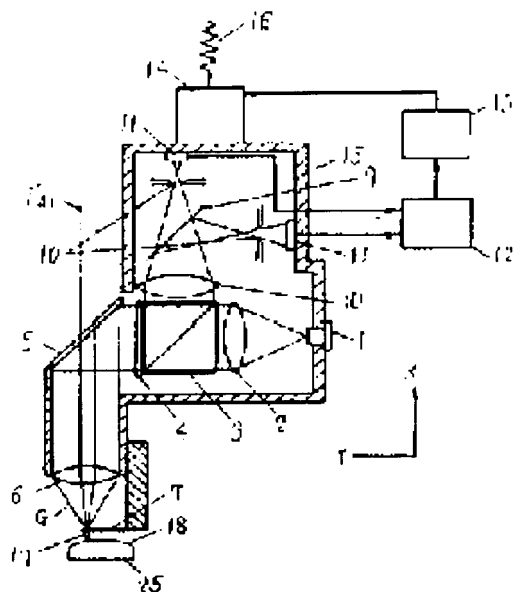
(72)Inventor : YOSHIZUMI KEIICHI
KUBO KEIJI

(54) SHAPE MEASURING INSTRUMENT

(57)Abstract:

PURPOSE: To enable wide-range measurement with high accuracy without making a fine flaw by fitting a probe to an optical probe part across a support member movably in a Z direction.

CONSTITUTION: A Z-movement part 15 converges laser light G which is emitted by a semiconductor laser 1 on a leaf spring 7 through a collimator lens 2, etc. The leaf spring 7 is extremely thick, the top surface side part which reflects light is polished specularly, and a stylus 17 as the probe which has a lower end part made of polished diamond is fitted on the reverse surface side. When there is not any surface 18 to be measured, the stylus 17 is several μm below a focus position under the influence of gravitational force. When a measurement is taken, the lower end part contacts the surface 18, an objective 6 moves down to the focus position, and a focus servo control optical system moves up and down under focus servocontrol so that the distance from the lens 6 to the top surface of the leaf spring 7 becomes constant at all times. A Z coordinate is measured with measurement light Fz1 converged on the surface of the leaf spring 7. The convergence positions of the measurement light Fz1 and semiconductor laser light G on the leaf spring 7 nearly match each other.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

⑨ 日本国特許庁(JP)

⑪ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報(A) 平3-255907

⑬ Int. Cl.³
G 01 B 11/24

識別記号 庁内整理番号
C 7907-2F

⑭ 公開 平成3年(1991)11月14日

審査請求 未請求 請求項の数 3 (全7頁)

⑮ 発明の名称 形状測定装置

⑯ 特 願 平2-55330

⑰ 出 願 平2(1990)3月7日

⑱ 発 明 者	吉 住 恵 一	大阪府門真市大字門真1006番地	松下電器産業株式会社内
⑲ 発 明 者	久 保 圭 司	大阪府門真市大字門真1006番地	松下電器産業株式会社内
⑳ 出 願 人	松下電器産業株式会社	大阪府門真市大字門真1006番地	
㉑ 代 理 人	弁理士 栗野 重孝	外1名	

明 細 書

1、発明の名称

形状測定装置

2、特許請求の範囲

(1) レーザ光を集光させる対物レンズのフォーカス位置にあるべき反射面の位置がずれても、常にこの反射面にフォーカス位置が来るよう前記対物レンズを光軸方向であるZ方向に移動させるようなオートフォーカス機能と、この反射面から反射したレーザ光を参照光と干渉させることにより、反射面のZ座標を測定することが可能な手段とを有した光プローブと、この光プローブ部に支持部材を介してZ方向に移動可能に取付けられ且つ前記反射面を備えた接触子と、前記光プローブ部をX又はXY方向に移動させる駆動手段と、X又はXY方向の光プローブ部の位置を測定するX又はXY座標測定手段とを有し、前記接触子を測定面にトレースさせることにより、測定面のXZ座標又はXYZ座標における前記測定面の形状を測定するように構成したことを特徴とする形状測定装置。

置。

(2) 支持部材がバネによって構成されたものである請求項1記載の形状測定装置。

(3) 支持部材がスライド機構によって構成されたものである請求項1記載の形状測定装置。

3、発明の詳細な説明

産業上の利用分野

本発明は高精度な非球面レンズ形状等の自由曲面の形状測定、半導体の微細なパターン形状の測定、さらには、曲面の上にグレーティング等の微細な段差を形成したフレネルレンズの形状測定等、微細な面形状を広いダイナミックレンジで測定する二次元、ないし、三次元の形状測定装置に関するものである。

従来の技術

非球面レンズなどの自由曲面形状測定において、サブミクロンから10nm程度の測定精度が必要となっており、従来の接触式三次元形状測定装置や干渉計では測定できない状況があった。そこで、測定精度が十分高く、非球面、自由

曲面も測定できる装置として考えられたものが特願昭57-189761号や特願昭60-148715号に記されている被測定面上に光を集光し、反射光から面形状を測定する光プローブを利用した光学式の形状測定装置である。

発明が解決しようとする課題

しかし上記光学式測定装置では、光を被測定面上に集光して測定する為、光のスポット径で横方向の測定分解能が制限され、 $1\mu\text{m}$ 以下の微細な形状を測定することはできない。また、被測定面からの反射光から測定する為、表面を無反射コートした面形状は測定できない。これは光学式測定装置の原理的な問題である。

一方、接触式の測定装置で、このような高精度測定を行うには、ステージの真直度、スケールの精度と配置の問題もあるが、接触圧の問題も大きい。たとえば、 $0.1\mu\text{m}$ の横分解能を持つ測定を行う為には、 $0.1\mu\text{m}$ 以下の先端曲率半径を持ったプローブ（接触子）が必要であるが、このプローブで被測定面を变形させない為には測定面

の材質によって変わるが、概略、 $30\sim 100\text{nN}$ ($3\sim 10\mu\text{g}$) 以下の接触圧にする必要がある。

この接触圧は従来の触針プローブの質量、バネ常数では達成できない。つまり、プローブの重さのみで接触圧を決めると、ダイヤモンドで 0.1mm 立方のみになるし、バネで支えるにしても、厚さ $13\mu\text{m}$ 、幅 0.25mm 、長さ 3mm のタングステンの板バネでバネ常数が 1N/m であり、 30nN たわませるだけで 30nN の力が必要となる。被測定面の高さ変化に対しこの接触圧を一定に保つのは至難のわざである。このような理由で、触針式で小さい接触圧で測定することは、従来技術では非常に難しかった。

なお、微細形状を測定する為に考えられたもので、針の位置を被測定面のトンネル電流の量から能動的に制御する走査型トンネル顕微鏡があるが、これは測定面が限られた金属でないと測定できないことや、ピエゾ素子で針位置をコントロールしているに測定範囲が極めて狭いことなどの間

題があった。

課題を解決するための手段

本発明は上記問題点を解消する為に、レーザ光を集光させる対物レンズのフォーカス位置にあるべき反射面の位置がずれても、常にこの反射面にフォーカス位置が来るよう前記対物レンズを光軸方向であるZ方向に移動させるようなオートフォーカス機能と、この反射面から反射したレーザ光を参照光と干渉させることにより、反射面までの距離即ち、反射面のZ座標を測定することが可能な手段とを有した光プローブ部と、この光プローブ部に支持部材を介してZ方向に移動可能に取付けられ且つ前記反射面を備えた接触子とを有することを特徴とする。

Z方向に移動可能な支持部材としては、バネ、又はスライド機構などが使用できる。

作 用

上記のように接触子を光プローブ部に取付けたことにより、接触子が被測定面上を追跡してそのZ方向の位置がいくら変化しても、光プローブ部

は接触子にオートフォーカスにより追跡するので、光プローブ部から接触子までの距離は変わらない。

従って、例えば支持部材としてバネを使用した場合、バネのたわみ量が一定になるので、極めて軽い一定の接触圧で大きな被測定面をトレースすることも可能となる。

また、支持部材としてスライド機構を使用した場合、スライド機構のスライドストロークはわずかでいいので、極めて軽いスライド機構を構成することができ、やはり、小さな一定の接触厚で大きな被測定面をトレースすることが可能となる。

この光プローブ部によって接触子を測定面にトレースさせることにより、測定面のXZ又はXYZ座標、即ち、測定面の形状を測定することができる。

実 施 例

本発明の一実施例として、本出願人が出願した特願昭57-189761号や特願昭60-148715号に記載されている光ヘテロダイン

法を利用した超高精度三次元測定機に接触プローブ部を搭載した形状測定装置について説明する。

第2図に示す同装置の全体構成において、19は本体ベースとしての下部石定盤、20はこの下部石定盤19との間にXテーブル21及びYテーブル22を介してX-Y方向に移動可能な上部石定盤、15は上部石定盤20の前面に設けられZ方向に移動可能に支持されたZ移動部、24は被測定物25を保持するL字状の保持台、26はこの保持台24をY方向の軸のまわりを回転させるモータとエヤースピンドルと回転角を検出するロータリーエンコーダからなる回転部、27はこの回転部26を昇降可能に支持し且つZ方向の軸Qのまわりに旋回可能な旋回台である。

第1図に示すZ移動部15において、半導体レーザー1から発したレーザー光Gはコリメートレンズ2、偏光ビームスプリッタ3、 $\lambda/4$ 波長板4を透過した後、ダイクロイックミラー5を反射し、対物レンズ6によって板パネ7上に集光する。

板パネ7の反射面が傾いていると、半導体レ

ザ光Gの反射光の一部は前記対物レンズ6の開口外に向けて反射させられるが、残部は対物レンズ6の開口内に向けて反射させられる。板パネ7の反射面はそんなに大きく傾くことはないが、この光学系はレーザー光Gや後述する測定光Fz1を被測定物25の被測定面18に直接集光しても反射光から形状測定できるので、反射面がどの方向に最大 $\pm 30^\circ$ まで傾いても必要な光量が対物レンズ6の開口内に反射されるよう、後述の傾き補正サーボがかかっている。

対物レンズ6に戻ったレーザー光Gの反射光はダイクロイックミラー5及び偏光プリズム3を全反射し、レンズ8で集光されてハーフミラー9で2つに分離され、ピンホール10を通過し、2つの光検出器11で受光される。2つの光検出器11の出力の差がフォーカス誤差信号発生部12でフォーカス誤差信号となり、駆動回路13によって、このフォーカス誤差信号がゼロとなるようにリニアモータ14を制御し、Z移動部15をZ軸方向に駆動する。Z移動部15の自重分は渦巻き

パネ16により支持される。

板パネ7は厚さ $10\mu\text{m}$ 程度と極めて薄く、光を反射する上面側部分は鏡面に研磨しており、下面側には $0.1\mu\text{mR}$ 程度に研磨されたダイヤモンド製の下端部50(第4図参照)を有する接触子としての針17がついている。被測定面18が無い時は針17は重力の影響でフォーカス位置より数 μm 下に向かっており、測定時は被測定面18に下端部が接触し、フォーカス位置まで対物レンズ6が下がることによって、対物レンズ6から板パネ7上面までの距離が常に一定になるようフォーカスサーボによりフォーカスサーボ光学系が上下する。Z座標の測定は板パネ7表面に集光する測定光Fz1で行う。測定光Fz1と半導体レーザー光Gの板パネ7上での集光位置は略一致する。

次に、He-Neゼーマンレーザー光を用いたXYZ座標の測定原理を説明する。2つの周波数f1、f2で発振するHe-Ne周波数安定化ゼーマンレーザー28から放射されたレーザー光Fの一部は、第一のハーフミラー29を透過した後、第二

のハーフミラー30で分離されて測定位置のX-Y座標測定に用いられる。一方、第一のハーフミラー29で反射したレーザー光Fzは、第3図に示すように、偏光プリズム31で測定光Fz1と参照光Fz2に分離される。測定光Fz1の周波数f1と参照光Fz2の周波数f2の差は数百KHzで、互いに垂直な直線偏光になっている。尚、X-Y座標測定に使用されるレーザー光Fx、Fyも、各光路途中で各偏光ビームスプリッタ32によって測定光Fx1、Fy1と参照光Fx2、Fy2とに分離される。

Z座標測定に用いられる測定光Fz1は、第3図に示すように、P偏波を全透過しS偏波を部分透過する特殊偏光プリズム33と、ファラデー素子34と、 $\lambda/2$ 板35とを通過し、S偏波となって偏光プリズム36で全反射される。そして $\lambda/4$ 板37、集光レンズ38を通過し、ミラー39上に集光して反射した測定光Fz1は前記 $\lambda/4$ 板37によってP偏波となり、前記偏光プリズム36を全透過して対物レンズ6に入射し、

板バネ7に垂直に集光される。

板バネ7からの反射光は上記入射光と同一光路を戻すが、S偏波となって特殊偏光プリズム33で一部反射された後、偏光プリズム31で全反射され、Z軸光検出器43に送る。被測定面18の形状測定時は、被測定面18上の測定点のZ座標の変動に応じて、針17及び、反射面である板バネ7も上下し、この上下の変動速度に応じて前記反射光の周波数がドブラーシフトし、 $f_1 + \Delta$ となる。

反射光の光路が板バネ7の傾きに応じてズレようとする際は特殊偏光プリズム33で一部反射された反射光を4分割光検出器40が検知し、集光レンズ移動手段41により集光レンズ38をX-Y方向に移動させて入射光の対物レンズ6への入射位置を変化させることにより常に反射光が同一光路を戻るように傾き補正サーボがかけられる。

一方、参照光Fz2は前記偏光プリズム31で全反射された後、レンズ41によってZ軸ミラー42上に集光され、反射して前記Z軸光検出器43

に送る。反射光の周波数は、X、Yテーブル21、22の移動真直度誤差により、 $f_2 + \delta$ となる。従ってZ軸光検出器43では、 $(f_1 : \Delta) - (f_2 : \delta)$ がビート信号として検出されZ座標検出装置44において板バネ7の測定位置のZ座標が正確に得られる。前記 Δ の中には移動真直度誤差である δ 成分が同じだけ含んでいるので測定値にはX、Yテーブルの移動真直度不足は誤差として出てはこない。

尚、測定位置のX、Y座標は、Z移動部15に設置したX、Y軸ミラー44、45に照射されたF×1、F×1の反射光と、下部石定盤1側に設置したX、Y軸ミラー46、47に照射された参照光F×2、F×2の反射光との周波数の差を、X、Y軸光検出器48、49で検知することにより得られる。

次に実施例における触針部について第4図に基づいて説明する。長さ12mm、幅0.25mm、厚さ12.7 μ mの板バネ7の下面に金属製の針17が接着されその下端部50は先端曲率半径0.1

μ mのダイヤモンドからなっている。

板バネ7のバネ定数kは以下のように計算される。ヤング率をE、板バネの長さ l 、幅 b 、厚さ h とすると、kは、

$$k = \frac{E b h^3}{4 l^3}$$

で表される。使用した板バネ7の材質はタングステンで、Eは $2.0 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$ であるので、 $k = 1.5 \times 10^{-3} \text{ N/m} = 1.5 \text{ nN}/\mu\text{m}$ となる。

このように極端に軟らかいバネでも被測定面17の高さが1 μ m変化するだけで接触圧が15nNだけ変わってしまう。一方、フォーカスサーボの追従精度は $\pm 0.02 \mu\text{m}$ 程度であるので、この板バネ7裏面にフォーカスサーボを掛けると、接触圧の変化は $1.5 \text{ nN} \times 0.02 = 0.3 \text{ nN}$ 以内に収まる。以下に示すように、この程度の接触圧では、樹脂などの軟質面でも変形を与えることなく測定できる。

被測定面の変形量と触針先端の曲率半径、お

よび接触圧との関係を述べる。曲率半径 $1/\rho$ の接触部が平面に力Pで接触した時の変形量 δ は精密測定

(1) (青木保雄著、コロナ社)23ページより、

$$\delta = \left(\frac{9}{512} (\theta_1 + \theta_2)^2 \cdot \Sigma \rho \cdot P^2 \right)^{1/3}$$

で表される。ここで、

$$\theta = 4(1 - \sigma^2)/E \quad \sigma: \text{ポアソン比}$$

で、 θ_1 、 θ_2 はそれぞれ接触子と被測定面の値である。ダイヤモンドは測定面に比べ十分固いので、 $\theta_1 = 0$ と置ける。 $\Sigma \rho$ は接触子のX方向、及び、Y方向の曲率の和で 2×10^7 である。Pは接触圧力である。

鋼鉄とポリエチレンという固い面と軟らかい面で、変形量 δ を求めてみる。理科年表によると、鋼鉄は $E = 2 \times 10^{11}$ で $\sigma = 0.3$ 、ポリエチレンは $E = 7.6 \times 10^8$ で $\sigma = 0.46$ である。これらの値を上式に代入して、鋼鉄の場合は接触圧が1 μ Nの時、変形量は0.8nm、ポリエチレンの場合は接触圧が10nNの時、変形量が0.5

nmとなる。この程度の変形では測定面へのキズ付きや測定誤差は問題とならない。

なお、触針部の先端形状、曲率半径や板バネの大きさ、材質については、被測定物に応じて、選ぶことができる。

次に本発明の他の実施例における触針部について第5図に基づいて説明する。

Z移動部15の下部に、取付け部53を介して下端面が半球状の接触子51がZ方向移動可能に取付けられる。接触子51の上部は前面取付け部53によってZ方向移動可能に案内支持されるスライド部52となっており、その上面は鏡面になっており、測定中はフォーカスサーボ用半導体レーザ光Gと測定用周波数安定化He-Neゼーマンレーザ光Fz1が集光される。接触子51は一定の接触圧で被測定面18上をトレースされ被測定面18の形状が測定される。

本発明は上記実施例に示すほか、種々の態様に構成することができる。

たとえば、上記実施例では、凸状の非球面レン

ズを対象物にしたが、これ以外の各種のものを対象物とすることができるのはもちろんであり、微細な集積回路の表面形状等も対象とできる。

発明の効果

本発明は上記構成、作用を有するもので、従来よりはるかに高精度でより微細な形状をキズつけることなく、非常に広範囲に測定できる。また、非接触の光測定では測定できない表面を無反射コード膜で覆われた面や、STMや電子顕微鏡では測定できない電気的な絶縁体表面も測定可能である。従って、従来できなかったレベルの形状測定が可能となり、産業上、科学技術上の効果は大きい。

4、図面の簡単な説明

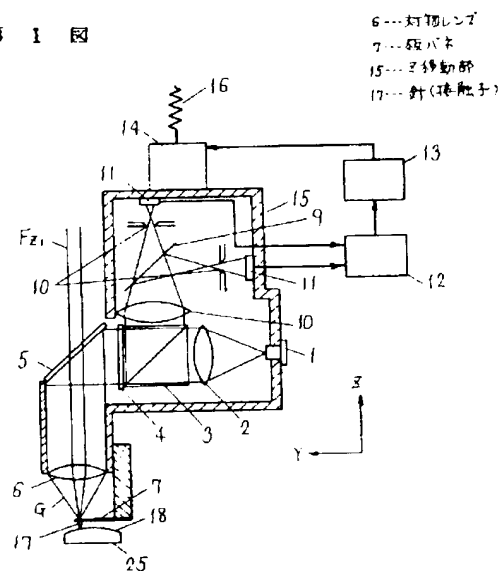
第1図は本発明の一実施例における主要部の説明図、第2図は同装置の機構系の全体構成図、第3図は同装置のZ座標測定光学系の原理図、第4図は同装置の測定用触針プローブの拡大図、第5図は本発明の他の実施例の主要部の説明図である。

6……対物レンズ、7……板バネ、15……Z

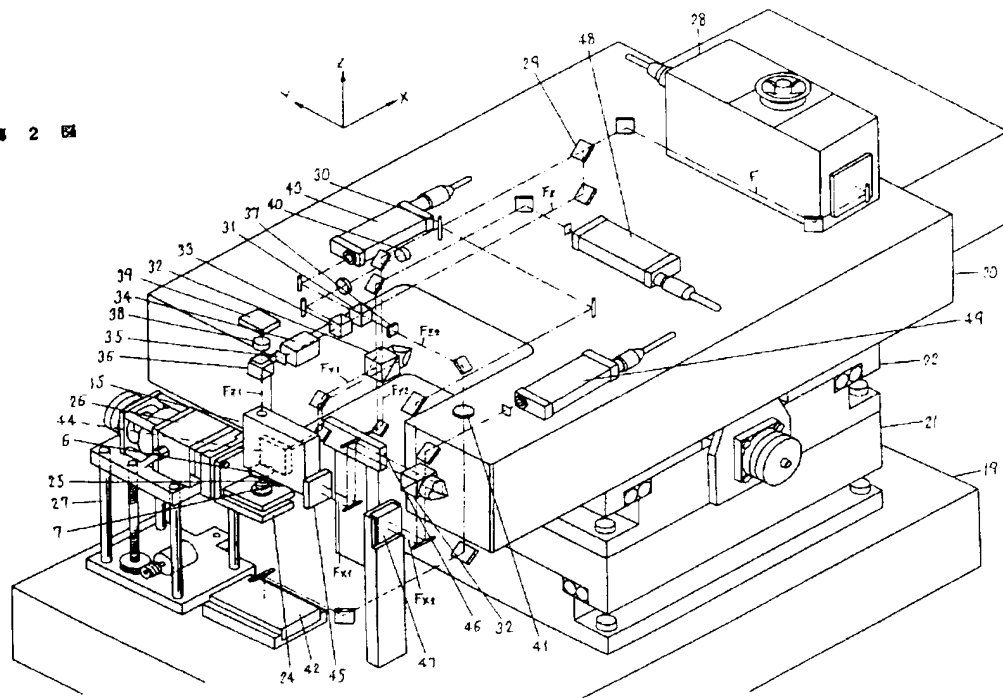
移動部、17……針（接触子）、51……接触子、52……スライド部、53……取付け部。

代理人の氏名 井理士 栗野重孝 ほか1名

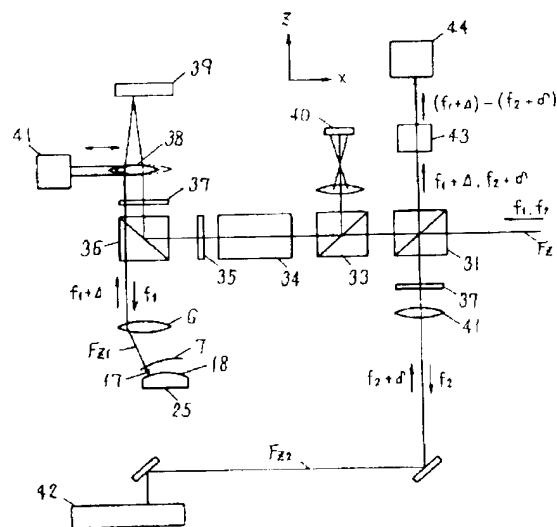
第1図

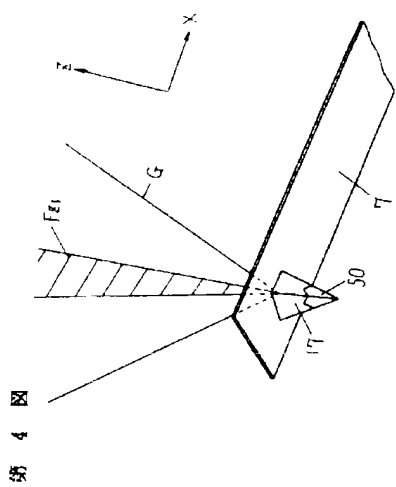


第 2 図



第 3 図





51...接合子
52...Z方向部
53...取付部

第 5 図

